

## MULTILEVEL OSMATRANJE KVALITETA PODZEMNE VODE U TRADICIONALNIM OSMATRAČKIM OBJEKTIMA SA DUGAČKIM FILTEROM

Dr Dragan KALUĐEROVIĆ, Advanced Groundwater Technology,  
email: advancedgwt@gmail.com ,web strana: www.advancedgwt.com  
blog: www.podzemnevode.blogspot.com, mobilni: +381-62-965-1748

Sandy BRITT, Pro Hydro Inc., web strana: www.snapsampler.com

### REZIME

Za osmatranje kvaliteta podzemne vode danas se kod nas najviše koriste bušotine sa dugačkim filterom. Osmatranje kvaliteta (a i nivoa podzemne vode) po vertikali je veoma retko i uglavnom se svodi na tri pijezomera koji imaju otvore, filtarske, na raznim dubinama. Takođe, sam način uzorkovanja iz objekata sa dugačkim filtrom, a to je ispiranje 3-5 zapremina objekta pa onda uzimanje uzorka, omogućava dobijanje samo jedne vrednosti koncentracije. Kao što je poznato telo zagađenja je 3D telo sa varijacijama koncentracija i po horizontalnom i po vertikalnom pravcu i sa tim jednim podatkom ne može se odrediti prostorni raspored koncentracija zagađenja. U novije vreme razvija se tehnika pasivnog uzorkovanja vode koja se zasniva na istraživanjima koja pokazuju da voda iz izdani i voda iz filtarskog dela objekta imaju iste karakteristike, tj. da se voda iz filtarskog dela bušotine ispira sa vodom iz izdani. Uz upotrebu inhibitora vertikalnog kretanja vode u filtarskom delu pasivnim uzorkovanjem može se dobiti promena koncentracija po vertikali i iz bušotina sa dugačkim filterom

**Ključne reči:** uzorkovanje, pasivno uzorkovanje, BTEX, filter, "low flow", podzemne vode

### 1 UVOD

Uzimanje uzoraka za hemijske analize iz podzemnih voda nije nimalo jednostavan zadatak a istraživanja vezana za ovaj proces su veoma često bila zapostavljena. S druge strane značajani naponi su vršeni za poboljšanje laboratorijskih uslova i preciznosti rezultata iz donešenih uzoraka podzemne vode. Cilj uzorkovanja podzemne vode je uzimanje

reprezentativnog uzorka koji će verno odslikavati fizički i hemijski sastav podzemne vode na mestu uzorkovanja. Sam pojam "reprezentativni uzorak" ima različito značenje za različite istraživače, npr. istraživači koje interesuju bunari za vodosnabdevanje jednostavno uzimaju uzorak nakon crpenja vode i time dobijaju zapreminski osrednjen uzorak koji sa druge strane ne bi bio dovoljno reprezentativan kad je u pitanju kretanje tela zagađenja (3D oblik) na delu izdani, na određenoj dubini, gde su potrebni diskretni podaci.

Kada su u pitanju pijezometri, njihovim ispiranjem sa 3-5 zapremina pre uzimanja uzorka, što je uobičajeno kod nas, takodje se dobija zapreminski osrednjen uzorak jer ako je dužina filtera mnogo veća od tela zagađenja doći će do razblaživanja uzorka tako da se neće dobiti realne koncentracije iz tela zagađenja.

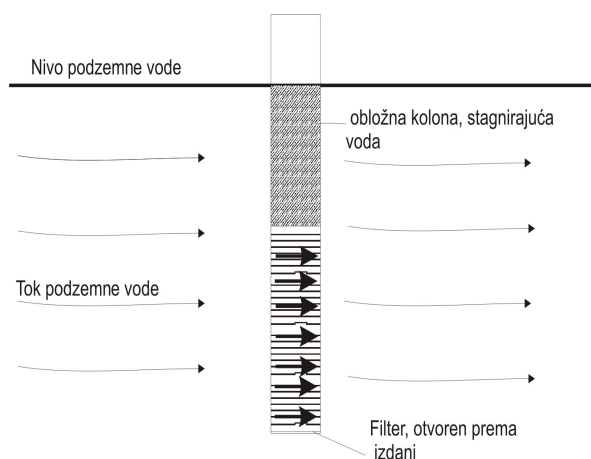
### 2 TEORETSKE OSNOVE PASIVNOG UZIMANJA UZORKA I HIDRAULIKA BUNARA VEZANA ZA UZORKOVANJE

Kada je osmatrački objekat (pijezometar ili bunar) u pitanju razlikujemo dva dela vode u odnosu na izdan, deo koji je u obložnoj koloni i deo koji se nalazi u zoni filtera. Već dugo vremena je priznato da voda koja se nalazi u zoni obložne kolone, tj. u zoni koja je zatvorena prema izdani, nije reprezentativna za hemijski sastav vode iz formacije tj. izdani. Ona je fizički izolovana od podzemne vode iz izdani i tokom vremena dolazi do brojnih promena hemijskog sastava:

- Dolazi do gradijenta koncentracije rastvorenog kiseonika sa površine vode u objektu
- Povećana mikrobiološka aktivnost usled prisustva rastvorenog kiseonika

- Smanjenje pH usled povećanog sadržaja ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>)
- Gubitak lako isparljivih organskih supstanci
- Usled interakcije između obložne kolone i podzemne vode dolazi do adsorpcije, desorpcije ili korozije materijala obložne kolone
- Procurivanje vode drugog hemijskog sastava kroz pukotine na obložnoj koloni

Međutim, dok je voda iz dela obložne kolone ne reprezentativna za vodu iz izdani, istraživanja u zadnje vreme (Nielsen 2002, Robin i Gillham 1987) pokazuju da je voda iz dela gde se nalazi filter u objektu reprezentativna za kvalitet vode iz formacije pod uslovom da je objekat pravilno izveden i razrađen. U zoni filtera dolazi do konstantnog ispiranja vodom iz izdani tj. voda iz izdani slobodno prolazi kroz peščani zasip i otvore filtera i ulazi u objekat (slika 1). Jasno je zašto se ovo dešava, zasip i filter imaju veći koeficijent filtracije nego izdan.



Slika 1. Hidraulika osmatračkog objekta između uzorkovanja

Robin i Gillham (1987) su koristeći traser demonstrirali da voda iz izdani prolazi kroz filter objekta i da se ne meša sa vodom iz dela koji je pod obložnom kolonom gde voda stagnira. Vizualna osmatranja kretanja koloidalnih čestica kroz filter objekta pokazuju da horizontalni laminarni tok postoji i dalje u samom objektu kada voda, tj. koloidna čestica, prođe kroz filter. Takođe, pokazano je i da se voda koja prođe kroz filter ne meša sa vodom iz zone u kojoj se nalazi obložna kolona. Ova istraživanja ukazuju da je: 1) voda iz zone filtera reprezentativna za vodu iz formacije koja se nalazi sa druge strane filtera 2) za

uzorkovanje vode iz zone filtera nije potrebno ispiranje bunara ili pijezometra već je dovoljno zahvatiti uzorak u zoni filtera da bi se dobio reprezentativni uzorak.

Tradicionalni pristup uzorkovanju vode podrazumeva da je voda i iz zone filtera i iz zone obložne kolone istog, promenjenog, kvaliteta u odnosu na onu iz formacije te se objekat ispira sa 3-5 zapremina objekta. Ovo ne samo da nije potrebno već prouzrokuje i promenu kvaliteta vode i to iz sledećih razloga:

1. Crpenjem 3-5 zapremina objekta privlači i vodu koja nije u zoni filtera već iznad i ispod zone filtera tako da se dobija zapreminsko osrednjavanje uzorka. Ukoliko se želi znati generalni, regionalni, sastav vode ovo može da odgovara ali ako se želi znati položaj tela zagađenja ovakav pristup uzrokuje manje vrednosti koncentracija zagađenja
2. Dolazi do mobilizacije fino-zrnih sedimanta iz okoline objekta kao i sa dna objekta rezultujući povećanim zamućenjem koje se odražava na rezultat tj. koncentracije određenih jedinjenja i elemenata (na prvom mestu metala)
3. Generišu se velike količine vode koja može biti zagađena i koja se negde mora ispustiti a time možda i preneti zagađenje na drugo mesto
4. Dolazi do aeracije vode u objektu

## 2.1 "Low flow" uzorkovanje

"Low flow" (minimalni kapacitet) tehnika uzorkovanja podzemne vode je razvijena da bi se smanjili ili uklonili nedostaci klasične tehnike uzorkovanja (ispiranje 3-5 zapremina objekta pre uzimanja uzorka) a na prvom mestu da bi se smanjio poremećaj parametara podzemne vode u objektu i oko njega. Kada se koristi "low flow" tehnika crpenje se vrši sa pumpom malog kapaciteta, oko 100-500 ml/minuti i dozvoljava se minimalno sniženje u objektu ali ne toliko da bi došlo do kretanja gornje vode, tj. vode iz dela objekta oko koga se nalazi obložna kolona. Zbog ovog malog kapaciteta crpenja, uzorak se uzima direktno iz dela izdani koja se nalazi u zoni filtera. Tokom uzorkovanja prate se parametri kao što je pH, el. provodljivost, ORP (oksidno redukcionni potencijal), rastvoreni kiseonik i uzorak se uzima tek kada se ovi parametri ustale. Količina ovako isrpene vode je i do 10 % od vode koja se iscrpi klasičnom metodom. U stvari, voda se crpi približno prirodnom kapacitetu obnavljanja vode u objektu.

Prethodni paragraf je kratak pregled “low flow” načina uzimanja uzorka koji je napredniji i reprezentativniji metod u odnosu na klasični. U daljem tekstu ce biti objašnjene osnove pasivnog uzorkovanja podzemne vode.

### 3 PASIVNO UZORKOVANJE PODZEMNE VODE

Pasivno uzorkovanje podzemne vode može se definisati kao zahvatanje podzemne vode pasivnim uzorkivačem sa određene dubine u objektu bez aktivnog transporta vode pumpanjem ili nekim drugim sredstvom. Postoji nekoliko vrsta pasivnih uzorkivača koji se razlikuju po načinu rada, jedni koriste difuziju i sorpciju da akumuliraju jedinjenja iz podzemne vode (Gore module), drugi zahvataju vodu direktno sa određene dubine (kao npr. Snap Sampler, Pro Hydro ili HydraSleeve). Osnova pasivnog uzorkovanja je već rečena u prethodnom paragrafu, a to je da su istraživanja pokazala da je voda u filtarskom delu u ravnotežnom stanju sa vodom van filtra i to bez pumpanja i da se vrši konstantno ispiranje vode iz filtarskog dela cevi vodom iz izdani. Da bi se uzeo uzorak iz objekta pasivnim uzorkivačem mora se znati, kao i kod ostalih metoda, osnovi konstrukcije objekta (prečnik, položaj filtarskog intervala i sl.), nivo podzemne vode, tip zagađenja i hidrauličke karakteristike izdani. Pasivni uzorkivači se potapaju na željenu dubinu a oni koji radi na principu difuzije moraju i da ostanu neko vreme u bunaru ili pijezometru da bi se postigla ravnoteža.

Da bi se ispunio osnovni uslov za korišćenje pasivnih uzorkivača a to je da se filterski deo kontinualno ispira vodom iz formacije može se uraditi jednostavan traserski test. Mora se napomenuti da je istraživanjima (Britt 2005) pokazano da u bunaru postoji vertikalno kretanje usled razlika u gradijentima kada je filter dugačak, čak i minimalna razlika u pritiscima na vrhu i dnu filtra indukuje kretanje vode u bušotini tako da lokacija gde zagađenje ulazi u filter usled vertikalnog kretanja ne mora da odgovara lokaciji te koncentracije u profilu bunara. Iz tog razloga se stavljaju inhibitori vertikalnog kretanja kada se želi uzeti multilevel uzorak iz bušotine o čemu će biti više reči u sledećem poglavlju.

U SAD se često vrši upoređivanje pasivnog i aktivnog uzorkovanja i u dosta slučajeva nema poklapanja a uzroci su jasni, usled različitog metoda uzimanja uzorka aktivne metode daju niže rezultate jer je uzimanje uzorka zapreminski osrednjeno, tj. voda se

zahvata i ispod i iznad tela zagađenja koje preseca filterski deo. Ovim se i postavlja pitanje lociranja pasivnog uzorkivača, koji treba da “pogodi” telo zagađenja i tada se tokom prvog uzorkovanja vrši uzorkovanje po vertikali i to po mogućnosti sa inhibitorima vertikalnog kretanja vode u bušotini.



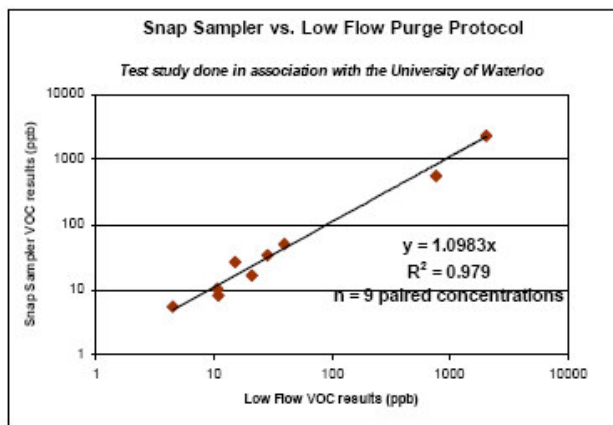
Slika 2. Snap Sampler pasivni uzorkivač

Zbog svoje komercijalne dostupnosti i dokazanih rezultata od pasivnih uzorkivača za testiranje uzet je Snap Sampler, severno američke firme Pro Hydro Inc. (slika 2). Uzorak iz objekta se uzima in situ sa određene dubine bez ispiranja objekta pumpom ili nekom drugom metodom. Snap Sampler koristi bočice (40 ml, 125 ml i 350 ml) koje su montirane u telo uzorkivača i koje su otvorene na obe strane sa kapicama koje su povezane oprugom. Snap Sampler se locira na određenu dubinu i ostavi neko vreme da se voda poremećena spuštanjem uzorkivača restabilizuje. Kada dodje vreme da se uzme uzorak mehaničkim okidačem se oslobađaju kapice sa bočica koje ih efikasno zatvaraju. Uzeti uzorak se direktno prebacuje u laboratoriju bez presipanja u druge boce (ovo je posebno značajno kada se ispituju lako isparljiva jedinjenja u vodi). Ovako uzeti uzorak je neporemećen i ne dospeva u kontakt sa vazduhom. Kada je potreban veći kapacitet uzorka 4 boce se mogu povezati u seriju i na taj način obezbediti veću zapreminu uzorka.

Prečnik Snap Sampler bočica je 1.65-3.1 inča zavisno od zapremine. Snap Sampler sa bočicama od 40 ml i 125 ml staje u pijezometre od 2 inča dok boca većeg kapaciteta staje u cev od 4 inča. Osnovne prednosti Snap Samplera su redukovanje troškova i vremena uzorkovanja, mogućnost zahvatanja uzorka bez kontakta sa vazduhom, uzimanje uzorka sa tačno određene dubine i redukcija greške uzorkovanja. Osnovni nedostatak je što zbog limitiranog kapaciteta nije moguće analizirati punu skalu parametara.

Za veće dubine umesto mehaničkog okidača koristi se električni akuator i sa njim dubina uzorkovanja praktično nije limitirana.

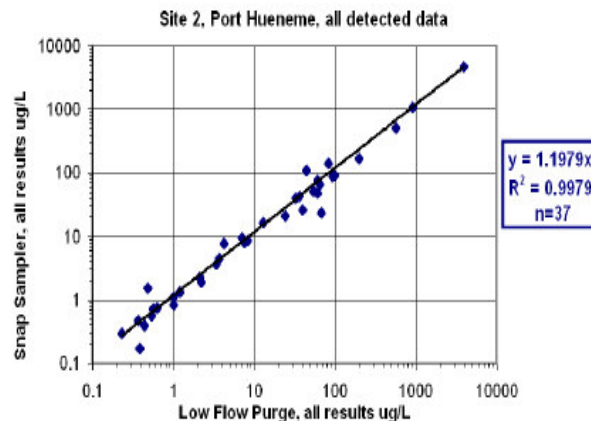
Terenska ispitivanja Snap Samplera i poređenje sa drugim metodama rađeno je u firmi Pro Hydro Inc. Na lokaciji zagađenoj TCE (trihloreten) u New Hampshire (Britt 2005) Snap Sampler je spušten u 4 inča osmatrački objekat na dubinu od 125 fita (oko 40 metara) i ostavljen preko noći da se postigne ravnoteža. Sledećeg dana Snap Sampler je aktiviran i uzet je uzorak a odmah zatim uzorak je uzet i sa "low flow" pumpom. Isti postupak je urađen i tokom sledećih 5 dana, pet puta, i nisu primećene značajne razlike u rezultatima.



Slika 3. Poređenje rezultata dobijenih "low flow" tehnikom uzorkovanja i Snap Samplerom

Na slici 3 je data regresiona linija poklapanja rezultata dobijenih Snap Samplerom i "low flow" metodom na nekoliko osmatračkih objekata u vojnoj bazi McClellan AFB. Kao što se sa dijagrama može zaključiti rezultati se praktično podudaraju. Na slici 4 data je dobra korelacija merenih koncentracija uzetih Snap Samplerom i "low flow" metodom na lokaciji u

Kaliforniji. Uzorci su testirani na BTEX (betzen, toluen, etil benzen i ksilen) i MTBE.



Slika 4. Poređenje rezultata dobijenih "low flow" tehnikom uzorkovanja i Snap Samplerom, lokacija u Kaliforniji

#### 4 PASIVNO UZORKOVANJE SA INHIBITORIMA VERTIKALNOG KRETANJA PODZEMNE VODE

Cilj uvođenja multilevel osmatranja zagađenja u podzemnim vodama je precizno definisanje tela zagađenja u podzemlju kao i dobijanje vertikalnog profila raznih jedinjenja u izdani. U tu svrhu postoje razni uradnji kao što je CMT (engl. continous multilevel tubing, kanadska kompanija SOLINST) ili se koriste pijezometri u nizu, tri npr., koji se nalaze jedan do drugog ali su filtri na različitim dubinama. Medjutim i dalje je praksa kod nas da je velika većina osmatračkih objekata sa dugačkim filtrom koji nisu pogodni za multilevel osmatranja.

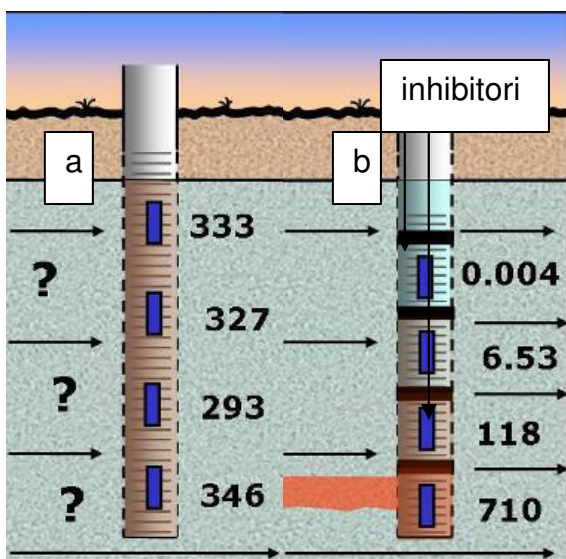
Kao sto je već rečeno, voda u zoni filtra se stalno ispira vodom iz izdani i generalno odgovara koncentraciji vode iz izdani. Medjutim vertikalno kretanja postoji u većini bušotina tako da ako voda jedne koncentracije uđe na određenom nivou u pijezometru ona može da se kreće vertikalno naviše ili naniže u zavisnosti od gradijenta. Ovo znači da multilevel osmatranje nije pogodno zbog vertikalnih kretanja u bušotini, tj, korespondencija izmedju koncentracija u izdani i vode u bušotini ne postoji.

Da bi se sprečilo vertikalno kretanje vode u bušotini koriste se inhibitori vertikalnog kretanja. Pored pakera

ovi inhibitori mogu biti obične plastične ploče kružnog oblika (slika 5) koje se kače na žicu okidača Snap Samplera na različitim dužinama.



Slika 5. Inhibitor vertikalnog kretanja vode u bušotini namontiran na tubu okidača Snap Samplera (Britt 2005)



Slika 6. Multilevel osmatranje koncentracija u bušotini sa inhibitorima vertikalnog kretanja vode u bušotini (Britt 2005)

Na slici 6 a i b vide se razlike u koncentraciji u osmatračkom objektu sa jedne lokacije u New Jersey-u (Britt 2006) bez inhibitora i sa postavljenim inhibitorima. Zbog gradijenata pritiska podzemne

vode u bušotini na slici 6 vidi se da nema razlike u koncentracijama i koncentracija u toj bušotini je osrednjena, tj. koncentracije nisu stratifikovane. Na slici 6 b vidi se da u bušotini na različitim dubinama postoje veoma različite koncentracije; od 0.004 mg/l do 710 mg/l fenola. Dužina filtra je 10 fita (oko 3.3 metra) i Snap Sampleri sa inhibitorima vertikalnog kretanja kružnog oblika postavljeni su na 2.5 fita (75cm) - 4 komada. Ovim je jasno pokazano da objekat "udara" u gornji deo tela zagađenja čime se doprinelo okonturivanju tela zagađenja. Sa praktične tačke gledišta nije potrebno koristiti druge multilevel osmatračke objekte već je i ovaj klasičan objekat dovoljan za 3D okonturivanje tela zagađenja.

## 5 ZAKLJUČAK

U ovom radu postepeno je uveden pojam pasivnog uzorkovanja podzemne vode kao i sama tehnika uzorkovanja. Dosadašnji način uzimanja uzorka podrazumevao je ispiranje 3-5 zapremina bušotine i uzimanje uzorka nakon te operacije. Ovim dolazi do fizičkih i hemijskih promena (mobilizacija koloidnih čestica, aerisanje vode u bušotini, veliko osrednjavanje uzorka) koji čine uzorak ne reprezentativnim. Iz tih razloga uvedeno je "low flow" i pasivno uzorkovanje. Kada je u pitanju pasivno uzorkovanje istraživanja su pokazala da postoji podudarnost vode u bušotini u zoni filtra i vode iz izdani čime se omogućava uzimanje pasivnog uzorka. Ovo podudaranje se ometa vertikalnim strujanjem vode u bušotini koja nastaje i usled malih gradijenata u izdani. Korišćenjem inhibitora vertikalnog kretanja vode u cevi bušotine moguće je uzeti multilevel uzorak iz tradicionalne bušotine sa dugačkim filtrom i time dobiti na preciznosti uzorkovanja. Inhibitori vertikalnog kretanja vode mogu da budu i obične pločice kružnog oblika koje se montiraju na kabl.

## LITERATURA

- [1] Britt, S. L. 2005. "Testing the In-Well Horizontal Laminar Flow Assumption with a Sand Tank Well Model." Ground Water Monitoring and Remediation 25(3): 73-81.
- [2] Britt, S. L., Beth L. Parker, John A. Cherry, *Field Testing the Snap Sampler<sup>sm</sup> — A Comparison with Low-Flow and Polyethylene Diffusion Samplers*, Eighth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, Baltimore, Maryland; June 6-9, 2005

- [3] ITRC. 2006. *Technology Overview of Passive Sampler Technologies*. DSP-4. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Diffusion/Passive Sampler Team. [www.itrcweb.org](http://www.itrcweb.org).
- [4] Kaluđerović D., *Prirodno prečišćavanje izdani*, Doktorska disertacija, 2008.
- [5] Kaluđerović D. *Mogućnosti revitalizacije izdani zagađene nitratima metodom in situ biodenitrifikacije*, Vodoprivreda, Beograd, 2008.
- [6] Nielsen, D., Nielsen, G., *Technical Guidance on Low Flow Purging & Sampling and Minimum-Purge Sampling*, 2002.
- [7] Palmer, C. D. 1993. "Borehole Dilution Tests in the Vicinity of an extraction Well." *Journal of Hydrology* 146: 245–66.
- [8] Robin, M.J.L. and R.W. Gillham, *Field Evaluation of Well Purging Procedures*, Ground Water Monitoring Review, Vol. 7, No. 4, pp.85-93, 1987.
- [9] Wiedemeier, T.H., Wilson, J.T., Kampbell, D.H., Miller, R.N., and Hansen, J.E., *Technical protocol for implementing intrinsic remediation with long-term monitoring for natural attenuation of fuel contamination dissolved in groundwater.*, U.S. Air Force Center for Environmental Excellence, San Antonio, TX. 1995.

## MULTILEVEL MONITORING OF GROUND WATER QUALITY IN TRADITIONAL MONITORING OBJECTS WITH LONG SCREEN

by

Dr Dragan KALUĐEROVIĆ, Advanced Groundwater Technology,  
email: [advancedgwt@gmail.com](mailto:advancedgwt@gmail.com), web strana: [www.advancegwt.com](http://www.advancegwt.com)  
blog: [www.podzemnevode.blogspot.com](http://www.podzemnevode.blogspot.com), mobilni: +381-62-965-1748

Sandy BRITT, Pro Hydro Inc., web strana: [www.snapsampler.com](http://www.snapsampler.com)

### Summary

Obtaining qualitative groundwater sample is a must for the studies of water quality. Old ways, such as discharging and purging 3-5 volume of monitoring object and then taking a water sample gives not enough quality of the sample. Low flow sampling techniques are one step forward in a quest for qualitative water sampling. In this methodology ground water is drawn with low capacity from observation well, 100-500 ml/min, thus not causing disturbances to water in the aquifer and in bore hole. The latest ground water sampling technique, passive sampling, is based on the fact that if water in the screened part of the monitoring object is identical to the water from aquifer, so the representative sample can be taken.

The drawback of this method is that there is a vertical head gradient in monitoring objects that cause movement of contamination within the casing and that correspondence between aquifer and water quality in observation object does not exist. The cure for this is use of inhibitors of vertical movement devices, like baffles, which will prevent vertical movement of water in observation object. On this way even observation objects with long screens can be used for multilevel monitoring.

Key words: sampling, passive sampling, BTEX, screen, "low flow", groundwater

Redigovano 10.11.2010.